

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-318340

(43)公開日 平成5年(1993)12月3日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

B 2 5 J 5/00

9/10

識別記号

E 8611-3F

C 8611-3F

Z

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5(全 12 頁)

(21)出願番号 特願平4-155916

(22)出願日 平成4年(1992)5月22日

(71)出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者 竹中 透

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
本田技術研究所内

(72)発明者 長谷川 忠明

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
本田技術研究所内

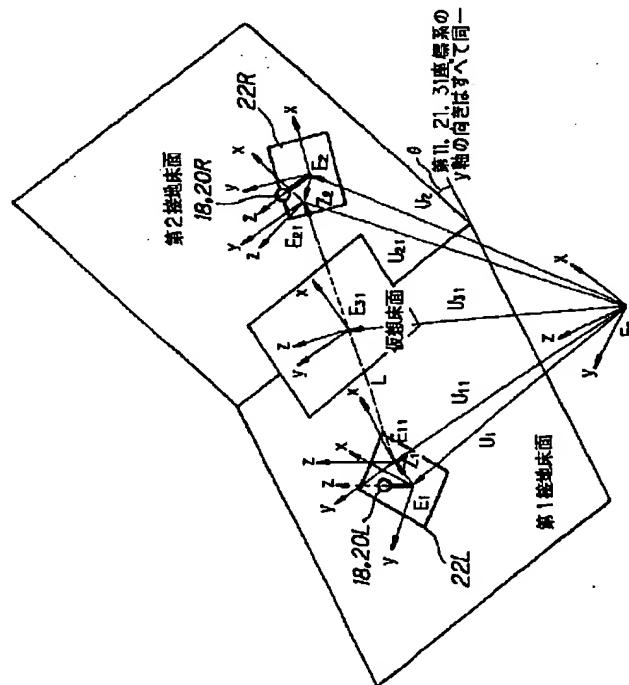
(74)代理人 弁理士 吉田 豊 (外1名)

(54)【発明の名称】 脚式移動ロボットの歩容生成装置

(57)【要約】 (修正有)

【構成】 2足歩行の脚式移動ロボットの歩容生成装置であって、両脚が2つ以上の平面が同時に接地するとき、その間を連続的に変化する第3の平面を仮想的に設定し、その上にZMP(歩行するとき床反力によるモーメントが零となる床面上の点)目標位置を仮想的に設定し、ZMPが目標位置となる様に歩容を決定する。

【効果】 従来の単一の平面でしか成立し得なかったZMP概念に代えて拡張したZMP概念を作り出したため、不整地でも安定して歩行できる。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 基体と、それに連結された複数本の脚部とを備えた脚式移動ロボットの歩容生成装置において、

a. 前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記第1の平面から第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を仮想的に設定する手段、及び

b. 動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項2】 基体と、それに連結された2本の脚部とを備えた2足歩行の脚式移動ロボットの歩容生成装置において、

a. 前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記脚部の一方の先端の第1の足底を支持面とする片脚支持期から両脚支持期を経て前記脚部の他方の先端の第2の足底を支持面とする片脚支持期に移行する際、前記第1の足底の接地する第1の平面から前記第2の足底の接地する第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を仮想的に設定する手段、及び

b. 動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項3】 基体と、それに連結された2本の脚部とを備えた2足歩行の脚式移動ロボットの歩容生成装置において、

a. 前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記第1平面に接地する脚部の一方の先端の第1の足底を支持面とする片脚支持期から両脚支持期を経て前記第2平面に接地する脚部の他方の先端の第2の足底を支持面とする片脚支持期に移行する際、前記第1、第2の足底の接地圧重心点をそれぞれ設定する手段、

b. 前記第1の平面から第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を前記第1、第2の足底の接地圧重心点を結ぶ線上を移動する様に仮想的に設定する手段、及び

c. 動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項4】 前記第1、第2の足底の接地圧重心点を原点とする第1、第2の座標系を設定すると共に、該第1、第2の座標系の間で移動する第3の座標系を設定し、その原点を前記ZMP目標位置に一致させる様にし

たことを特徴とする請求項3項記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項5】 前記ZMP目標位置が前記線上を連続的に移動する様にその歩容を決定することを特徴とする請求項3項記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【産業上の利用分野】この発明は脚式移動ロボットの歩容生成装置、より具体的には2足歩行の脚式移動ロボットの歩容生成装置であって、単一平面から構成されていない不整地などを移動するときも動力学的な平衡条件を満足して安定に歩行できる様にしたものに関する。

**【0002】**

【従来の技術】脚式移動ロボット、特に2足歩行の脚式移動ロボットとしては、特開昭62-97005号、特開昭63-150176号公報記載のものなどが知られている。また脚式移動ロボットを含むロボットの制御については、「ロボット工学ハンドブック」、日本ロボット学会編、1990年10月20日）に詳しい。

**【0003】**

【発明が解決しようとする課題】ところで、脚式移動ロボットの制御においては上記の「ロボット工学ハンドブック」の347頁以下に詳述されている様に、ZMPの概念を導入し、それが目標軌跡を辿る様にロボットの歩容を決定することが知られている。その場合、接地面を含む最小凸多角形の中にZMPが存在することが、動的な力の平衡をとる条件となる。更に、接地面を含む最小凸多角形の中なるべく中央にZMPが存在する様に歩容を設計すれば、安定余裕の高い歩容となる。

【0004】しかし、ZMPは単一平面、特に単一の水平面でのみ成立する概念であり、ロボットが不整地や勾配が変化する斜面などを移動する場合、通常、法線方向や高さが異なる2つ以上の床面に同時に接地しているときが存在するので、歩容設計に従来のZMP概念を適用することができない。

【0005】従って、この発明の目的は上記した不都合を解消することであり、従来のZMP概念を拡張し、不整地など2つ以上の平面に同時に接地する場合においても安定した歩容を生成できる様にした脚式移動ロボットの歩容生成装置を提供することにある。

【0006】また、ロボットに作用する慣性力と重力の合力と合モーメントが連続、換言すれば、各脚に作用する床反力の合力と合モーメントが連続であれば、ロボット重心の加速度が連続になって滑らかな動きを実現することができ、更には足底と床との間の接地感を高めることができるなど、脚式移動ロボットを制御する上で種々の利点がある。

【0007】従って、この発明の第2の目的は、不整地などを安定して歩行できると共に、床反力の合力と合モーメントが連続である様に歩容を生成する様にした脚式

移動ロボットの歩容生成装置を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く、基体と、それに連結された複数本の脚部とを備えた脚式移動ロボットの歩容生成装置において、前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記第1の平面から第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を仮想的に設定する手段、及び動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段を備える如く構成した。

#### 【0009】

【作用】ロボットが予定する歩行面が第1、第2の平面を含むとき、第1平面から第2平面に連続的に変化する第3の平面を想定し、その上にZMP目標位置を仮想的に設定し、設定されたZMP目標位置となる様に歩容を生成することから、平面が異なるときもZMPを連続的に移動させることができ、安定した歩容を実現することができる。

#### 【0010】

【実施例】以下、脚式移動ロボットとして2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって、この発明の実施例を説明する。図1はそのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であり、左右それぞれの脚部リンク2に6個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。該6個の関節は上から順に、腰の脚部回旋用（ $z$ 軸まわり）の関節10R、10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰のロール方向（ $x$ 軸まわり）の関節12R、12L、同ピッチ方向（ $y$ 軸まわり）の関節14R、14L、膝部のピッチ方向の関節16R、16L、足首部のピッチ方向の関節18R、18L、同ロール方向の関節20R、20Lとなっており、その下部には足平22R、22Lが取着されると共に、最上位には筐体（上体）24が設けられ、その内部には制御ユニット26が格納される。

【0011】上記において腰関節は関節10R（L）、12R（L）、14R（L）から構成され、また足関節は、関節18R（L）、20R（L）から構成される。また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク32R、32Lで、膝関節と足関節との間は大腿リンク34R、34Lで連結される。ここで、脚部リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、更にはその出力を倍力する減速機などを備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平1

－324218号、特開平3－184782号）などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0012】図1に示すロボット1において、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足平を介してロボットに伝達される $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向の力成分 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ とその方向まわりのモーメント成分 $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また足平22R

（L）の四隅には静電容量型の接地スイッチ38（図1で図示省略）が設けられて、足平の接地の有無を検出する。更に、筐体24には傾斜センサ40が設置され、 $x$ － $z$ 平面内と $y$ － $z$ 平面内の $z$ 軸に対する、即ち、重力方向に対する傾斜角度と傾斜角速度を検出する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。更に、図1では省略するが、ロボット1の適宜な位置には傾斜センサ40の出力を補正するための原点スイッチ42と、フェール対策用のリミットスイッチ44が設けられる。これらの出力は前記した筐体24内の制御ユニット26に送られる。

【0013】図2は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40などの出力はA/D変換器50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ56を介してRAM54内に入力されると共に、接地スイッチ38などの出力は波形整形回路58を経て同様にRAM54内に格納される。制御ユニット内にはCPUからなる第1、第2の演算装置60、62が設けられており、第1の演算装置60は後で述べる様に生成されてROM64に格納されている歩容（腰軌道、足平軌道）を読み出して目標関節角度を算出してRAM54に送出する。また第2の演算装置62はRAM54からその目標値と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値を算出し、D/A変換器66とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

【0014】続いて、この制御装置の動作を歩容生成を中心に説明する。

【0015】図3はその動作を示すフロー・チャートである。この制御においては、図4に示す様な二面角 $\theta$ で接する2つの床面（平面）の境界において、2本の脚部がそれぞれ異なる床面に同時に接地しているときの歩容生成に焦点をおく。ここで左脚部の足底（足平22Lの底面。「第1足底」と称する）の接地面を第1接地面、右脚部の足底（足平22Rの底面。「第2足底」と称する）の接地面を第2接地面とする。ここで「接地面」は床面上のロボットと床との接触領域の意味で使用する。また第1、第2接地面を含む平面を、「第1接地床面」、「第2接地床面」と称する。尚、「床面」は、実

際の床が途中で切れていても無限大の広がりを持つ、数学的意味合いの平面とする。

【0016】図3フロー・チャートにおいては、先ずS10において絶対座標系、第1座標系、第2座標系を設定する。絶対座標系のz軸は、鉛直方向上向きにとる。第1座標系は第1接地床面をx-y平面とする相対座標系を、第2座標系は第2接地床面をx-y平面とする相対座標系を示す。図4に示す如く、第1、第2座標系は簡略化のため足関節18、20R(L)の交点の直下に原点をおき、そのx軸を進行方向にとると共に、そのz

$(f_{ix} \rightarrow (p \rightarrow), f_{iy} \rightarrow (p \rightarrow), f_{iz} \rightarrow (p \rightarrow))^T$  : 第i接地面から見た第i接地圧分布

$(f_{ix} \rightarrow (p \rightarrow), f_{iy} \rightarrow (p \rightarrow), f_{iz} \rightarrow (p \rightarrow))^T$

【0018】また第i接地面からロボット1に作用する力とそのモーメントとを第i床反力と呼び、数2の様に記述する。

第i接地面から見た第i床反力： $(E_i, U_i \rightarrow, Z_i \rightarrow, F_i \rightarrow, M_i \rightarrow)^T$

ここで、

$Z_i \rightarrow$  : 第i座標系から見た第i接地圧重心位置 (第i床反力作用点とも言う)

$(Z_{ix}, Z_{iy}, Z_{iz})^T$

$Z_{ix}$  は、第i接地面から見た第i接地圧分布  $f_{iz} \rightarrow (p \rightarrow)$  の重心x座標

$Z_{iy}$  は、第i接地面から見た第i接地圧分布  $f_{iz} \rightarrow (p \rightarrow)$  の重心y座標

$Z_{iz}$  は0

$F_i \rightarrow$  : 第i座標系から見た第i床反力の力成分

$(F_{ix}, F_{iy}, F_{iz})^T$

$M_i \rightarrow$  : 第i座標系から見た第i床反力のモーメント成分

$(M_{ix}, M_{iy}, M_{iz})^T$

ただし、 $M_{ix} = 0$  かつ  $M_{iy} = 0$

【0020】図5に示す様に、接地圧重心点は、z方向のモーメント $M_z$ を除き、x、y方向のモーメント $M_x, M_y$ が生じない様な床反力の作用点を意味する。全ての接地面で発生する床反力の合力と合モーメントとを全床反力と呼ぶ。床反力は図6に示す様に、ロボット1に作用する重心 $mg$ と慣性力 $-m\alpha$ の合力に対抗して生ずる反力であり、これらロボット1に作用する力が動学的に平衡しているとき、ロボット1は安定に歩行する。

【0021】続いてS12に進み、第1足底を支持脚とする片脚支持期の最後の時刻を $t_s$ とし、両脚支持期を

軸を第1、第2接地床面の法線ベクトルと同一向きにとる。尚、第1、第2接地面の法線ベクトルの向きは、床内部から床表面に向かう向きにとる。座標系の各軸の向きは回転マトリックス $E_i$ で示す(「i」は数字(絶対座標系は0とする))を示す。以下同じ)。また第i接地面で発生する接地圧分布を第i接地圧分布と呼び、図5に示す如く、第i接地面から見た第i接地圧分布を数1に示す様に $f_{iz} \rightarrow (p \rightarrow)$ と記述する。

【0017】

【数1】

【数2】

【0019】

【数2】

経て第2足底を支持脚とする片脚支持期に移る時刻を $t_e$ とし、時刻 $t_s$ のときの第1足底の接地圧重心点と時刻 $t_e$ のときの第2足底の接地圧重心点とを求める。続いて、両者を結んで仮想ZMPの軌道を図4に破線で示す様に設定する。図示例の様に、両脚支持期の初めの期間に、それまで支持脚であって脚がベタ足で接地している場合には、時刻 $t_s$ における第1足底接地圧重心点は足平の中央付近に設定しておき、ベタ足期間が終了する頃につま先(足平22L先端)に移動させれば、安定余裕の高い歩容を生成することができる。両脚支持期にベタ足期間がない場合には、第1足底の接地圧重心点は、

両脚支持期ではつま先に固定しておけば良い。第2足底の接地圧重心点は、かかと付近（足平22R後端）に設定する。尚、時刻 $t_s$ では、第2足底に床反力が発生していないので、ZMP位置と第1足底の接地圧重心点は一致する。同様に、時刻 $t_e$ ではZMP位置と第2足底の接地圧重心点は一致する。

【0022】ここで、第1座標系から見た第1足底接地圧重心点を $Z1 \rightarrow$ とし、第2座標系から見た第2足底接地圧重心点を $Z2 \rightarrow$ とし、絶対座標系から見た第 $i$ 座標系の原点座標

$$(U_{ix}, U_{iy}, U_{iz})^T$$

$E_i$  : 絶対座標系から見た第 $i$ 座標系の基準ベクトルを列に持つ行列

$E_i$  の第1行 ( $e_{i11}, e_{i12}, e_{i13}$ )

$E_i$  の第2行 ( $e_{i21}, e_{i22}, e_{i23}$ )

$E_i$  の第3行 ( $e_{i31}, e_{i32}, e_{i33}$ )

【0024】次いで、S14に進んで第1座標系を設定する。第1座標系の原点は、第1足底接地圧重心点とする。即ち、 $U11 \rightarrow = U1 \rightarrow + E1Z1 \rightarrow$ と記述する。ここで、第1座標系の $z$ 軸の向きは、第1座標系の $z$ 軸の向きに一致させる。第1座標系の $y$ 軸の方向は、第2接地床面の法線ベクトルと第1接地床面の法線ベクトルの外積の向きにとる。即ち、2つの平面の交線の向きにとる。

【0025】次いで、S16に進んで第2座標系を設定する。第2座標系の原点は、第2足底接地圧重心点とする。即ち、 $U21 \rightarrow = U2 \rightarrow + E2Z2 \rightarrow$ とする。また第2座標系の $z$ 軸の向きは、第2座標系の $z$ 軸の向きに一致させる。また第2座標系の $y$ 軸の方向は、第2接地床面の法線ベクトルと第1接地床面の法線ベクトルの外積の向きにとる。これは図4に示す如く、第1座標系の $y$ 軸の向きと同じである。

【0026】次いでS18に進み、時間と共に移動する第3の平面（仮想床面）を想定し、これを第3座標系と呼ぶ。そして第3座標系を $x-y$ 平面に含む第3座標系

$$U31 \rightarrow = h \left( (U21 \rightarrow + E21Z2 \rightarrow) - (U11 \rightarrow + E11Z1 \rightarrow) \right) + (U11 \rightarrow + E11Z1 \rightarrow)$$

【0028】尚、関数 $h$ の簡単な例は、数5の式となる。

【0029】

【数5】

$$h = (t - t_s) / (t_e - t_s)$$

【0030】次いでS20に進んで、ロボット1の運動から動力学的に求められる仮想床面上のZMP位置が、第3座標系の原点に一致するようにロボットの軌道を生成する。ここで仮想床面上のZMPとは、ロボットに作

用する慣性力と重力の合力と合モーメントに、動力学的に平衡する各足底に作用する床反力の合力と合モーメントを、仮想床面の1点に作用する合力と合モーメントに変換したときに、全モーメントの床面法線方向成分以外の成分が零となる作用点のことを言う。

【0023】

【数3】

【数3】

系を想定する。第3座標系の原点は、仮想床面上の設定したい仮想ZMP位置に一致させるものとする。またその $y$ 軸の向きについては、先に第1座標系と第2座標系とでそれらの $y$ 軸の向きを一致させてあることから、第3座標系の $y$ 軸も同一向きにする。設定したい仮想ZMP位置、即ち、第3座標系の原点位置 $U31 \rightarrow$ を、時刻 $t_s$ から時刻 $t_e$ までの間に、第1足底接地圧重心点（即ち、 $U11 \rightarrow$ ）から第2足底接地圧重心点（即ち、 $U21 \rightarrow$ ）へ徐々に移し、絶対座標系から第3座標系への回転変換マトリックス $E31$ を、 $E11$ から $E21$ へ徐々に変化させる。図7にそれを示す。ここで、具体的には同図に示す如く、 $U31 \rightarrow$ を、 $U11 \rightarrow$ と $U21 \rightarrow$ を端点とする線分上を、 $U11 \rightarrow$ から $U21 \rightarrow$ に徐々に移動させる。この場合、時刻 $t_s$ で値が零、時刻 $t_e$ で値が1となる関数 $h$ を設定することによって、 $U31 \rightarrow$ を数4の様に表すことができる。

【0027】

【数4】

用する慣性力と重力の合力と合モーメントに、動力学的に平衡する各足底に作用する床反力の合力と合モーメントを、仮想床面の1点に作用する合力と合モーメントに変換したときに、全モーメントの床面法線方向成分以外の成分が零となる作用点のことを言う。

【0031】ところで、図示のロボット1の関節自由度は12個あるので、支持脚足平22R（L）を基準として腰（左右の腰関節の midpoint）の位置と姿勢、遊脚足平22L（R）の位置と姿勢を決定すれば、12個の関節角

度の全てを決定することができる。このとき、関節角度が加速度まで連続に変化するためには、ロボットの腰の位置と姿勢、遊脚足平の位置と姿勢が、加速度まで連続に変化すれば良い。しかし、動力学から求められるZMPが設定されたZMP位置に一致する様な腰の位置は直接的に設計することができないので、以下の様にして腰軌道を設計する。

$$F a 0 + m g = m G c d d \quad (\text{ニュートン方程式})$$

【0034】

【数7】

$$M a 0 + G c \times (m g) = L w d + L v d \quad (\text{オイラー方程式})$$

【0035】

【数8】

$$F a 0 = E 3 1 F a 3 1 \quad (\text{力の座標変換式})$$

【0036】

【数9】

$$M a 0 = E 3 1 M a 3 1 + (U 3 1 + E 3 1 Z 3 1) \times E 3 1 F a 3 1$$

(作用点とモーメントの関係および座標変換の式)

【0037】これらより、数10に示す式が得られる。

【数10】

【0038】

$$E 3 1 M a 3 1 = L w d + L v d - G c \times (m g) - (U 3 1 + E 3 1 Z 3 1) \times (m G c d d - m g)$$

【0039】ところで、Z31はZMPであるので、数11の方程式を満足する。

【0040】

【数11】

$$M a 3 1 x = M a 3 1 y = 0$$

$$f(H i p x, H i p y, H i p z, \dots) = 0$$

【0043】上記した数10、数11、数12の式を満足する様に、腰軌道を設定していけば、実際のZMPが目標の位置となる腰軌道を生成することができる。数10の式の形から明らかな様に、重心の加速度とZMPとが同一の式に乗算項として入っているため、ZMPの移動が連続的であり、仮想床面の法線方向の方向角の変化が連続的であれば、腰軌道は加速度まで連続になる。ただし、このとき、足平の位置・姿勢および腰の姿勢は連続でなければならない。以上によって歩容が決定される。

【0044】次いでS22に進んで決定された歩容に基づいて12個の関節の目標角度を計算し、次いでS24に進んで姿勢安定化も考慮してサーボ制御値を計算するが、これは公知の技術なので、説明は省略する。

【0045】この実施例は上記の如く構成したので、不整地などにおいて左右の脚部が法線方向が異なる2つ以上の床面に同時に接地している様な場合でも、安定余裕の高い歩容を生成することができる。これについて、図9、図10を参照して説明する。図9は図4に示した様な二面角 $\theta$ をなして交差する2つの平面に両脚が接地した状態を上から見た展開図であり、従来のZMP概念を用いてZMPを設定した例を示す説明図である。また図10は同様の展開図にこの発明に係る拡張したZMP概

【0032】即ち、ZMPとロボットの運動量の関係は、ニュートン・オイラー方程式と力の作用点の変換式によって数6から数9に示す様に関係づけられる。図8に使用する物理量の定義を示す。

【0033】

【数6】

【0041】数10の式と数11の式だけでは腰位置運動の自由度が1つ残ってしまうので、数12の式の様な腰位置に関する拘束条件式を1つ加える。

【0042】

【数12】

念を用いて設定したZMPの例を示す説明図である（正確にはこの発明では仮想床面にZMPを設定する）。従来の概念を用いてZMPを設定した図9の場合には、交線を超えた位置で平面が異なることから、ZMP軌道の連続性が失われる。即ち、ZMPは力Fと鉛直軸まわりのモーメント成分Mzとから表現されるが、このうちモーメント成分Mzは歩容で決定されてしまうものであって操作することができない。従って、従来のZMP概念によれば、平面が切り替わったところでZMPが不連続となり、しかもその飛び量を予め把握することができず、ZMPが最小凸多角形の中に確実が存在するか否かを保証することができない。最小凸多角形の外に出て、足底の摩擦力が無限大であれば良く姿勢を保持できるが、足底の摩擦力は一般に有限であるので、結果的に姿勢を崩して転倒する恐れがある。

【0046】それに対し、この発明によるときは、仮想的な床面を想定して仮想ZMP軌道を設定していることから、図10に示す様に平面が切り替わってもZMPを最小凸多角形において常に中央付近に位置させることが可能となる。また生成する軌道、特に腰の軌道を加速度まで連続させると共に、仮想ZMP軌道も図4、図7に示す様に連続的に移動させる様にしたので、ロボットの滑らかな動きを実現することができ、足底と床面との接

地感を高めることができ、更にサーボモータの目標値への追従制御も容易となる。

【0047】また、この発明による拡張されたZMP概念を用いることにより、片脚支持期において、支持脚足底接地面に前記仮想床面を一致させ、かつ支持脚足底の接地圧重心点の設計軌道（片脚支持期ではZMP設定軌道と同一）に前記仮想ZMPを一致させることにより、従来通りの片脚支持期歩容も同様に生成することができる。

【0048】図11はこの発明の第2実施例を示す、図7と同様の接地圧重心と第31座標系の遷移を示す説明図である。この実施例の場合には、実際の床面（第1、第2接地床面）上に設定した。

【0049】尚、上記において、第11座標系および第21座標系のy軸の方向は、第2接地床面の法線ベクトルと第1接地床面の法線ベクトルの外積の向きにとらなくても良い。ただし、その場合には前記の仮想床面の向きを設定するときに、第1実施例の様な簡便な手法を使用することができず、例えば仮想床面の向きをオイラー

$$\begin{aligned} \text{合ベクトル} = & \text{第11座標系の} z \text{ 軸方向ベクトル} * (1 - k) \\ & + \text{第21座標系の} z \text{ 軸方向ベクトル} * k \end{aligned}$$

ただし、

$k$  は時刻  $t_s$  で値が0、時刻  $t_e$  で値が1となる関数である。

【0054】更に、上記においてZMP軌道が連続である例を示したが、それに限られるものではなく、不連続であってもある程度の効果を挙げることができる。

【0055】更に、上記において第31座標系の原点を軌道の上に固定したが、それに限るものではなく、適宜移動させても良い。

【0056】更に、上記において腰軌道を生成する例を示したが、それに限られるものでなく、重心軌道を生成しても良い。更に、腰軌道を生成する際に収束演算を用いる場合、収束演算回数に制限を与えた近似計算を用いるものでも良い。

【0057】更に、上記において腰軌道などの歩行パターンを予め設定しておく場合に適用する例を示したが、それに限られるものではなく、歩行のときリアルタイムに求める様にした技術にも応用可能である。

【0058】更に、上記において2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって説明してきたが、それに限られるものではなく、3足以上の脚式移動ロボットにも妥当するものである。

【0059】

【発明の効果】請求項1項にあつては、基体と、それに連結された複数本の脚部とを備えた脚式移動ロボットの歩容生成装置において、前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記

角を用いて表現し、オイラー角を徐々に変化させる様な手法が必要となる。

【0050】尚、第31座標系の原点位置  $U_{31} \rightarrow$  の移動を比例配分で行う手法を示したが、この他にも種々な関数を用いて良い。逐次表現により関数  $h$  を定義すれば、リアルタイムの歩容変更にも対応することができるので、一層良いであろう。

【0051】尚、第31座標系の  $z$  軸の向きを設定する手法は先に例示したものに限られるものではなく、第31座標系の  $z$  軸の向きと第11座標系の  $z$  軸の向きとの間の角度と第21座標系の  $z$  軸の向きと第11座標系の  $z$  軸の向きとの間の角度比を、時刻  $t_s$  で値が0、時刻  $t_e$  で値が1となる様に徐々に変化させても良い。

【0052】更には、第31座標系の  $z$  軸方向ベクトルを、次の数13に示す式で与えられる合ベクトルの向きに設定しても良い。

【0053】

【数13】

第1の平面から第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を仮想的に設定する手段、及び動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段を備える様に構成したので、不整地など2つ以上の平面が連続する場所を移動するときも安定した歩容で歩行することができる。

【0060】請求項2項にあつては、基体と、それに連結された2本の脚部とを備えた2足歩行の脚式移動ロボットの歩容生成装置において、前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記脚部の一方の先端の第1の足底を支持面とする片脚支持期から両脚支持期を経て前記脚部の他方の先端の第2の足底を支持面とする片脚支持期に移行する際、前記第1の足底の接地する第1の平面から前記第2の足底の接地する第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を仮想的に設定する手段、及び、動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段を備える如く構成したので、本来的に安定性の低い2足歩行の脚式移動ロボットが不整地など2つ以上の平面が連続する場所を移動するときも、安定した歩容で歩行することがで

きる。

【0061】請求項3項にあつては、基体と、それに連結された2本の脚部とを備えた2足歩行の脚式移動ロボットの歩容生成装置において、前記ロボットが予定する歩行面が第1、第2の少なくとも2つの平面を含むとき、前記第1平面に接地する脚部の一方の先端の第1の足底を支持面とする片脚支持期から両脚支持期を経て前記第2平面に接地する脚部の他方の先端の第2の足底を支持面とする片脚支持期に移行する際、前記第1、第2の足底の接地圧重心点をそれぞれ設定する手段、前記第1の平面から第2の平面に連続的に変化する仮想的な第3の平面を想定し、その上に前記ロボットのZMP目標位置を前記第1、第2の足底の接地圧重心点を結ぶ線上を移動する様に仮想的に設定する手段、及び動力学によって求められるZMP位置が前記設定されたZMP目標位置となる様に前記ロボットの歩容を決定する手段を備える様に構成したので、簡易な構成でありながら、本来的に安定性の低い2足歩行の脚式移動ロボットが不整地など2つ以上の平面が連続する場所を移動するときも、安定した歩容で歩行することができる。

【0062】請求項4項の装置にあつては、前記第1、第2の足底の接地圧重心点を原点とする第1、第2の座標系を設定すると共に、該第1、第2の座標系の間で移動する第3の座標系を設定し、その原点を前記ZMP目標位置に一致させる様に構成したので、より簡易な構成で前記した効果を奏することができる。

【0063】請求項5項の装置にあつては、前記ZMP目標位置が前記線上を連続的に移動する様にその歩容を決定する様にしたので、前記した効果を奏すると共に、ロボット重心の加速度が連続になりロボットの滑らかな動きを実現でき、ロボットに不要な振動や衝撃が発生せず、足底と床面との間の接地感を高めることができ、更にはアクチュエータが目標歩容に追従し易くなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る脚式移動ロボットの歩容生成装置を全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示す制御ユニットの説明ブロック図である。

【図3】この発明に係る脚式移動ロボットの歩容生成装置の動作を示すフロー・チャートである。

【図4】図1のロボットが歩行を予定する2つ以上の平面が連続する歩行面を示す説明図である。

【図5】図3フロー・チャートで用いる接地圧重心点の定義を示す説明図である。

【図6】図1に示すロボットに作用する力を簡略的に示す説明図である。

【図7】図3フロー・チャートで用いる仮想床面に設定する第31座標系の移動軌跡を示す説明図である。

【図8】図3フロー・チャートで用いる軌道生成に使用する式の定義を示す説明図である。

【図9】従来のZMP概念を用いて2以上の連続する平面に設定するZMPを示す説明図である。

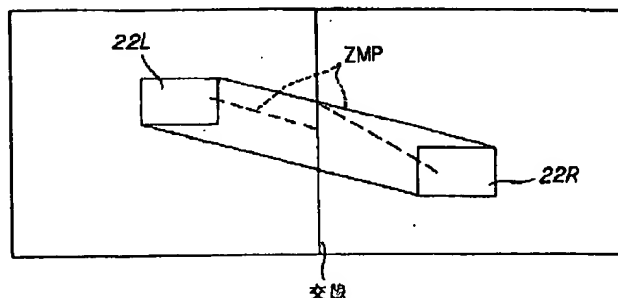
【図10】この発明による拡張したZMP概念を用いて2以上の連続する平面に設定するZMPを示す説明図である。

【図11】この発明の第2実施例を示す図7と同様の第31座標系の移動軌跡を説明する説明図である。

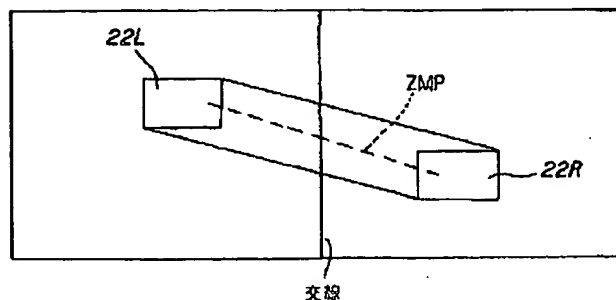
【符号の説明】

1	脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
2	脚部リンク
10R, 10L	脚部回旋用の関節
12R, 12L	腰部のロール方向の関節
14R, 14L	腰部のピッチ方向の関節
16R, 16L	膝部のピッチ方向の関節
18R, 18L	足首部のピッチ方向の関節
20R, 20L	足首部のロール方向の関節
22R, 22L	足平
24	筐体
26	制御ユニット
36	6軸力センサ

【図9】

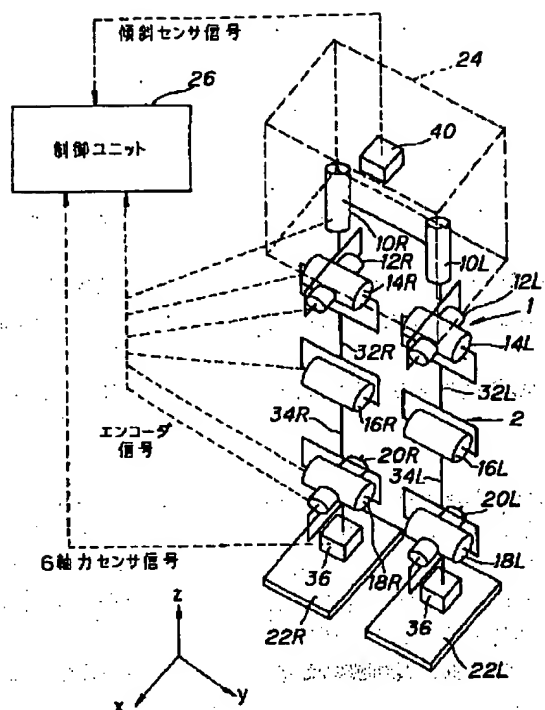


【図10】

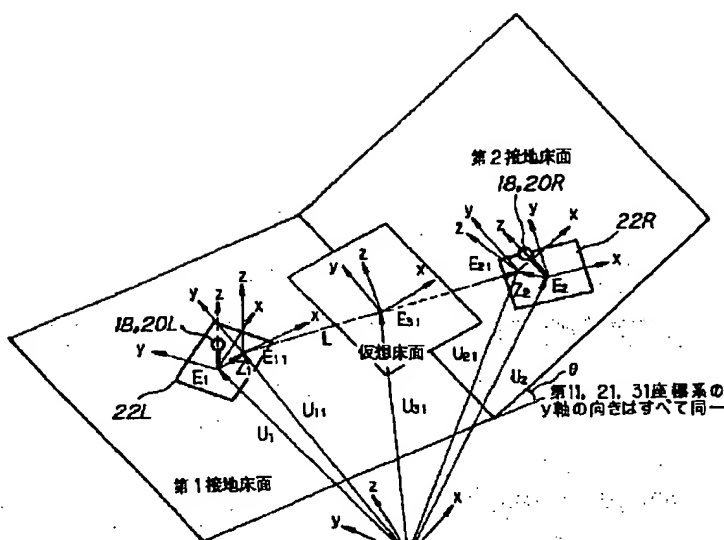




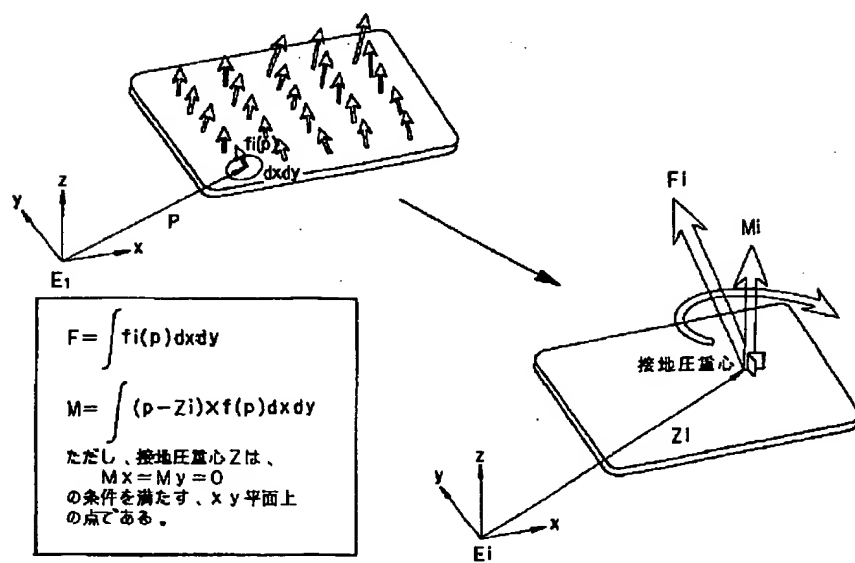
【図1】



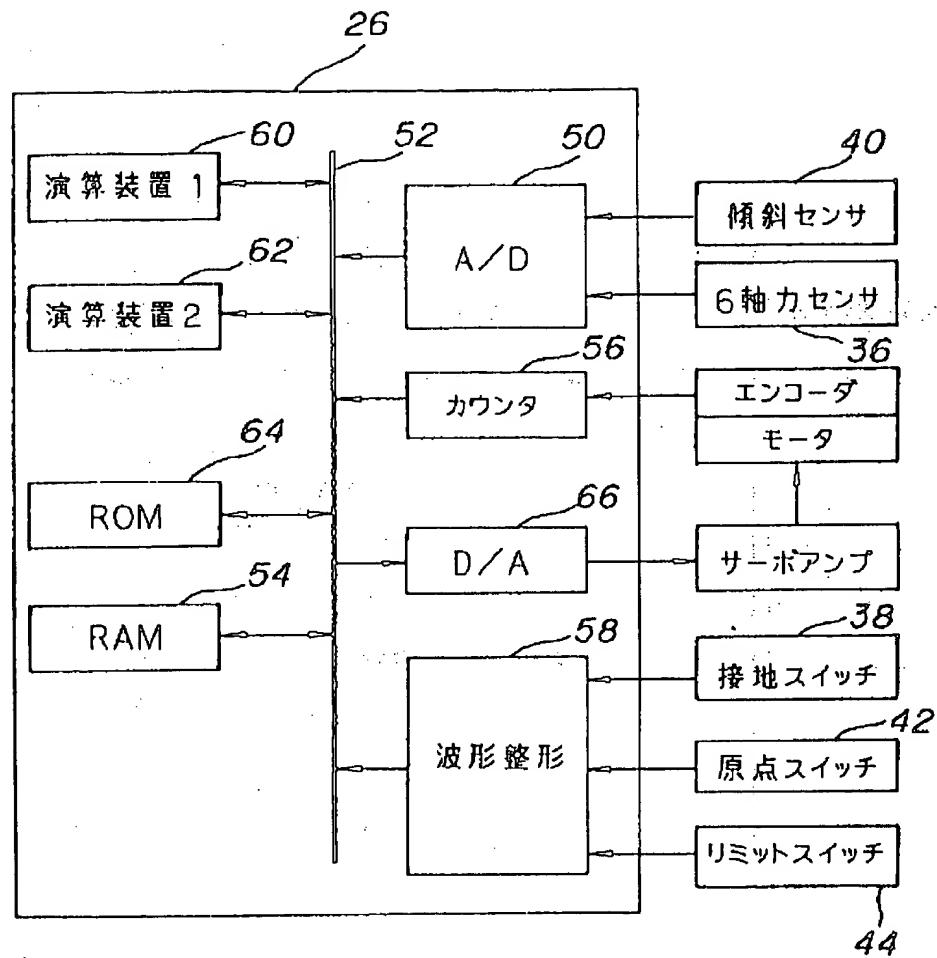
【図4】



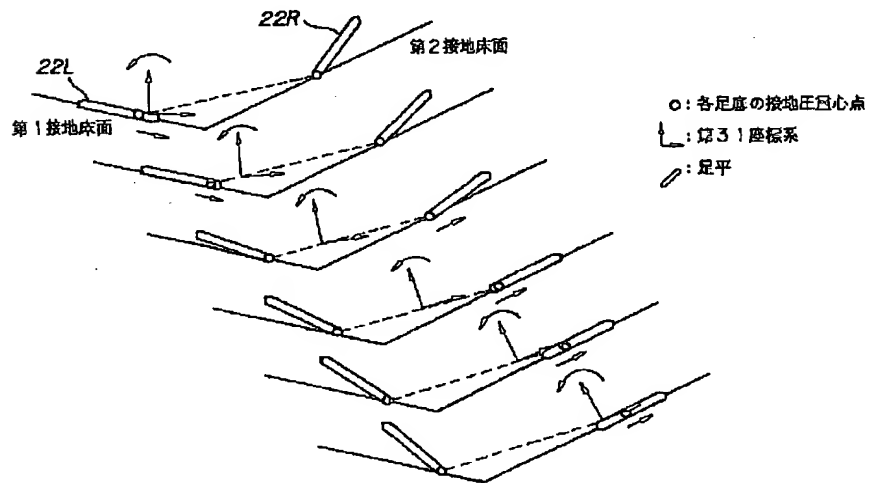
【図5】



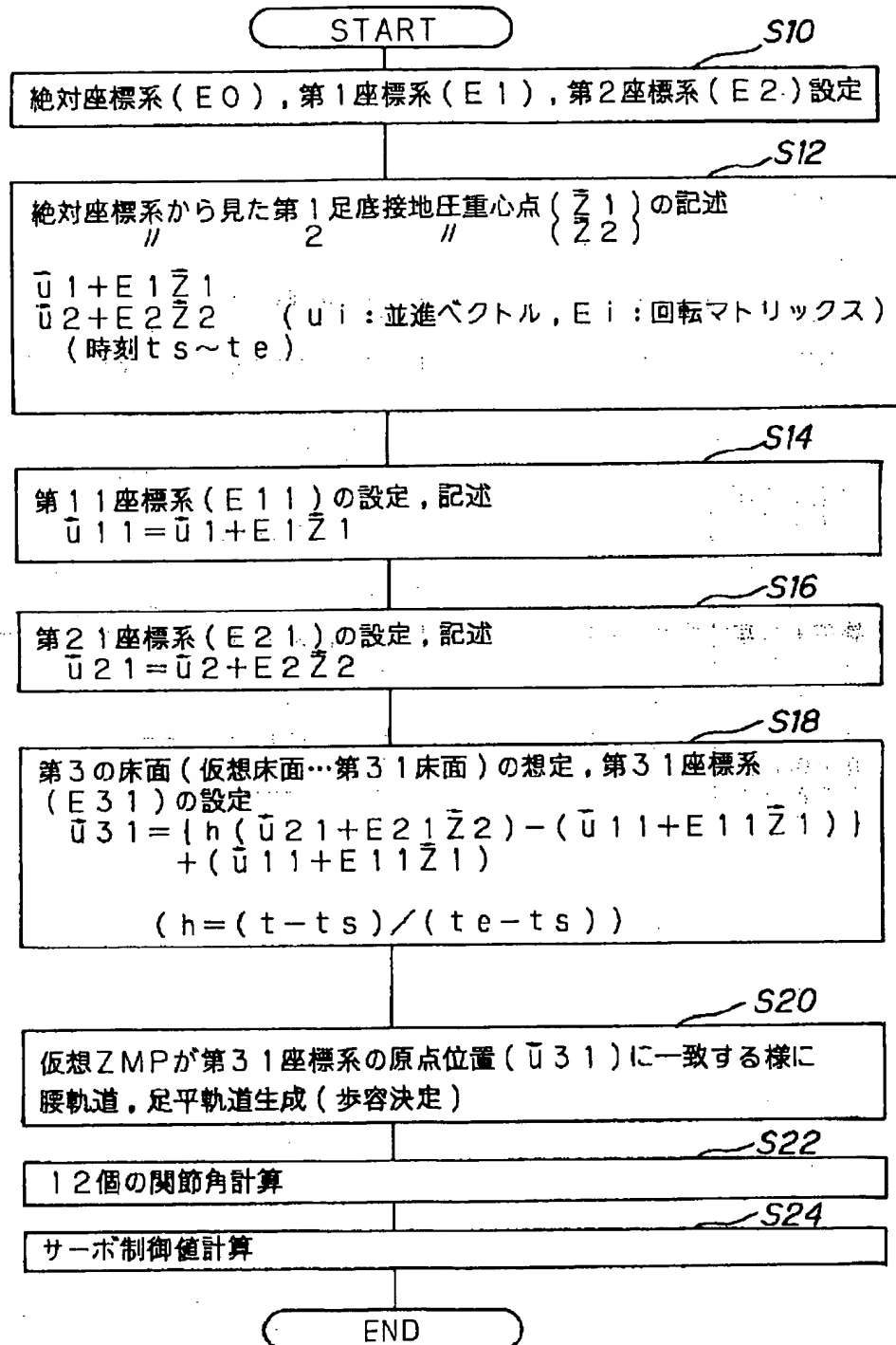
【図2】



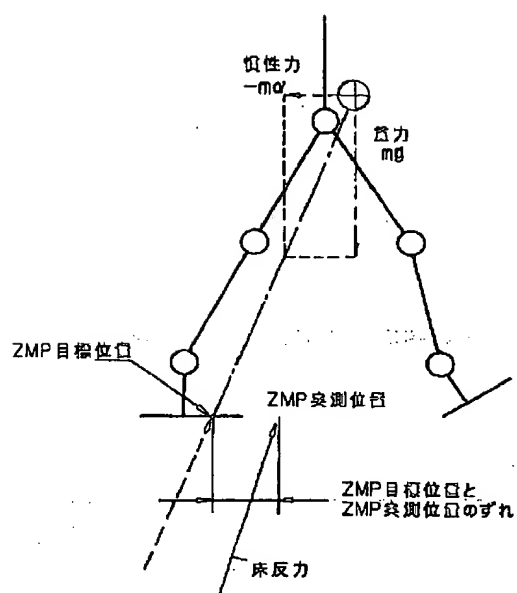
【図7】



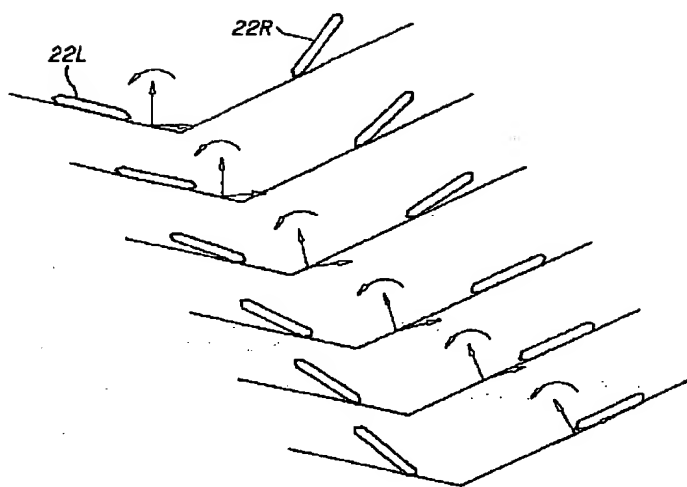
【図3】



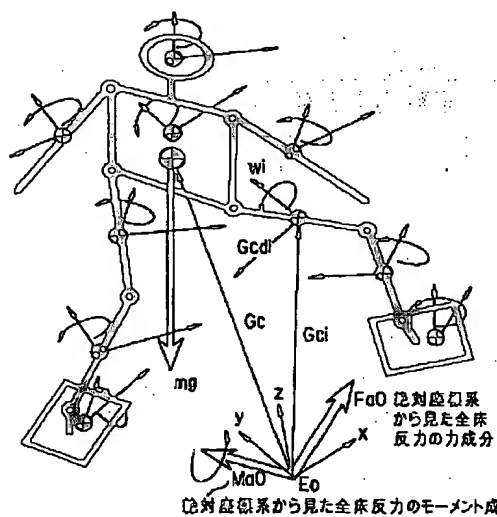
【図6】



【図11】



【図8】



$m$  全質量  
 $G_c = (gcx, gcy, gcz)$  全重心  
 $G_{cd} = (gcdx, gcdy, gcdz)$  全重心速度  
 $G_{cdd} = (gcd dx, gcd dy, gcd dz)$  全重心加速度  
  
 $m_i$  リンク  $i$  の質量  
 $G_{ci} = (gci x, gci y, gci z)$  リンク  $i$  の重心  
 $G_{cdi} = (gcd i x, gcd i y, gcd i z)$  リンク  $i$  の重心速度  
 $G_{cd di} = (gcd i dx, gcd i dy, gcd i dz)$  リンク  $i$  の重心加速度  
  
 $J_i = \text{diag}(J_{ix}, J_{iy}, J_{iz})$  リンク  $i$  の慣性テンソル(近似)  
 $w_i = (wix, wiy, wiz)$  リンク  $i$  の角速度  
 $w_{di} = (wdix, wdiy, wdz)$  リンク  $i$  の角加速度  
  
 $LW = \sum J_i w_i$  各リンクの重心まわりの角運動量の総和  
 $= (LWx, LWy, LWz)$   
 $Lwd = (Lwdx, Lwdy, Lwdz)$  その微分値  
  
 $LV = \sum G_{ci} \times G_{cdi}$  各リンクの重心速度による重心まわりの角運動量の総和  
 $= (LVx, LVy, LVz)$   
 $Lvd = (Lvd x, Lvd y, Lvd z)$  その微分値  
  
 $g = (0, 0, g_z)$  重力加速度ベクトル( $g_z = -9.8 \text{ m/s}^2$ )

絶対座標系から見た全床反力のモーメント成分

$Fa0 + mg = mG_{cdd}$	Newton eq.
$Ma0 + G_c \times (mg) = Lwd + Lvd$	Euler eq.